

О.Я. Олійник¹, Т.С. Айрапетян²¹ Інститут гідромеханіки НАН України, м. Київ, Україна² Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна

ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО РОЗРАХУНКУ КИСНЕВОГО РЕЖИМУ ПРИ БІОЛОГІЧНОМУ ОЧИЩЕННІ СТІЧНИХ ВОД В АЕРОТЕНКАХ З ЗАКРІПЛЕНИМ І ЗВАЖЕНИМ БІОЦЕНОЗОМ

Наведені практичні рекомендації до використання запропонованих раніше моделей і методів розрахунку кисневого режиму при біологічному очищенні стічних вод від органічних забруднень в аеротенках-змішувачах зі зваженим і закріпленим біоценозом. Обґрунтовано необхідні вихідні параметри і коефіцієнти, з використанням у розрахунку прийнятої технологічної схеми, проведено аналіз і оцінку по забезпеченню киснем процесу очистки в об'ємі аеротенка-змішувача.

Ключові слова: очищення стічних вод, кисневий режим, аеротенк-змішувач, активний мул, закріплена біомаса (біоплівка), концентрації забруднень і кисню, вихідні параметри, розрахунок, оцінка, аналіз.

Постановка проблеми

В практиці очищення міських стічних вод найбільше поширення набули біологічні методи очищення. Класичною технологічною схемою такої очистки є система споруд, основною складовою якої є біореактор-аеротенк. В аеротенку відбувається вилучення (біоокислення) сорбованих на плаваючих пластинках активного мулу, які складається переважно з мікроорганізмів, завислих чи розчинних у воді органічних забруднень (ОЗ).

Однак існуючі на більшості очисних спорудах каналізації традиційні технології біологічного очищення в сучасних умовах не забезпечують ефективного й надійного очищення стічних вод. Тому актуальними є дослідження, спрямовані на підвищення ефективності роботи аеродинамічних споруд й одержання математичного опису процесів біологічного очищення стічних вод. Тільки на основі більш повних і досконалих математичних моделей можна одержати надійні інженерні методи розрахунку конструктивних і технологічних параметрів біореакторів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Ефективність вилучення ОЗ в аеротенках, особливо за останніми підвищеними вимогами до якості очищення [1-3], можна значно підвищити, якщо поряд зі зваженим біоценозом (активним мулом) забезпечити влаштування в об'ємі аеротенка додаткового завантаження у вигляді різних сіток, насадок і т. і., на поверхні яких утворюється біоплівка з високою концентрацією мікроорганізмів [4-6]. Механізм вилучення ОЗ активним мулом

грунтовно досліджені та наведені зокрема в роботах [7-9].

Особливості вилучення ОЗ мікроорганізмами біоплівки зокрема полягають в необхідності додаткового врахування при очищенні масопереносу ОЗ. Дуже важливим також є врахування кисню в біоплівці і через пограничний шар рідини, який утворюється на поверхні біоплівки, особливості формування активної частини біоплівки по висоті [10,11].

Для оцінки і аналізу кисневого режиму в аеротенках-змішувачах і аеротенках-витискувачах з врахуванням особливостей подачі і споживання кисню зваженим і закріпленим біоценозом побудовані математичні моделі, які зводяться до реалізації відповідних рівнянь матеріального балансу записаних відносно концентрацій кисню [12-14]. В результаті реалізації цих моделей запропоновані методи розрахунку параметрів кисневого режиму для різних технологічних схем в залежності від розташування елементів завантаження в об'ємі (площі) аеротенка, наявності чи відсутності його на окремих ділянках аеротенка [13].

В роботі [15] наведена математична модель, що дозволяє отримати інженерну методику розрахунку процесу біологічного очищення в аеротенках-змішувачах з закріпленим і зваженим біоценозом з урахуванням кисневого режиму.

Важливим питанням, від вирішення якого залежить одержання достовірних результатів є оцінка впливу різних факторів і обґрунтованість найбільш доцільного технологічного режиму роботи очисних споруд.

Формулювання мети статті

Метою статті є ілюстрація на конкретних прикладах розрахунку методики визначення основних параметрів схеми аеротенка-змішувача зі зваженим і закріпленим біоценозом. Це дозволяє простежити послідовність і хід виконання розрахунків, на основі розглянутих варіантів оцінити вплив різних факторів і обґрунтувати найбільш доцільний технологічний режим роботи очисних споруд.

Виклад основного матеріалу

В роботі наведені розрахунки параметрів кисневого режиму в аеротенку-змішувачі зі зваженим і закріпленим біоценозом і проведена оцінка різних (можливих) параметрів і технологій формування в динаміці кисневого режиму. При цьому розглянута найбільш доцільна з практичної точки зору технологічна схема очистки, яка відповідає сучасним вимогам забезпечення високого ступеня очищення (рис.1) [13,16]. В цьому випадку аеротенк-змішувач складається із двох частин (реакторів 1 і 2), при цьому в реакторі 1 вилучення ОЗ відбувається за рахунок зваженого біоценозу (активного мулу), тобто працює як звичайний аеротенк-змішувач, а в реакторі 2 вилучення ОЗ відбувається за рахунок закріпленого біоценозу (біоплівкою) на встановленому тут завантаженні. Зазначимо, що в обох частинах аеротенка реактори працюють як реактори-змішувачі. Так як в реактор 1 довжиною l_1 безпосередньо поступає стічна вода, яка має значну початкову концентрацію, то буде доцільним вилучення ОЗ в реакторі 1 активним мулом прийняти за реакцією нульового порядку, а в реакторі 2 довжиною l_2 , в якому фактично відбувається доочистка стічної води, за реакцією першого порядку. Тим більше, що в існуючих традиційних аеротенках доочистку виконати надто складно і неекономічно. Так як в загальних рівняннях швидкостей реакцій [14,16] маємо $K_{m_c} \ll C, K_{m_a} \ll C_a$, то для кисню в практичних розрахунках можна прийняти, що окислення відбувається за реакцією нульового порядку в біоплівці і в аеротенку. Таким чином, для реакцій, приймаючи в загальних рівняннях $\gamma_c = \frac{C}{K_{m_c} + C} \approx 1$,

маємо

$$R_c = \alpha_1 R_L + \alpha_2 b_c X \quad (1)$$

$$R_L = k_L L = \frac{\mu_{m_L} X}{Y K_{m_L}} L, \quad (2)$$

$$R_{C_a} = \alpha_{1_a} R_a + \alpha_{2_a} b_{c_a} X_a, \quad (3)$$

$$R_a = \frac{\mu_{m_a} X_a}{Y_a} \quad (4)$$

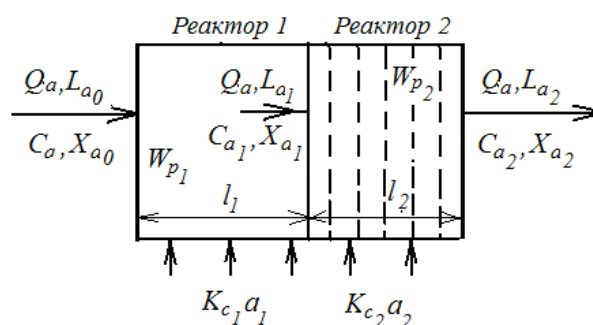


Рис.1. Технологічна схема аеротенка-змішувача з розташованим в реакторі 2 закріпленим біоценозом

Використання запропонованої методики розрахунку технологічної схеми аеротенка-змішувача зі зваженим і закріпленим біоценозом проілюструємо на конкретних прикладах розрахунку, які дозволяють простежити послідовність і хід її виконання і на основі розглянутих різних варіантів оцінити вплив різних факторів і обґрунтувати найбільш доцільний технологічний режим роботи очисних споруд.

Стічна вода концентрацією розчинених органічних забруднень L_{a_0} поступає в аеротенк (реактор 1) (рис.1), в якому згідно [12, 16] необхідно визначити тривалість аерації T_{a_1} , яка буде забезпечувати очищення стічних вод до концентрації L_{a_1} . При цьому нагадаємо, що вилучення ОЗ в реакторі 1 відбувається активним мулом за реакцією нульового порядку з врахуванням виділених речовин при відмиранні (розпаду) буде мати вигляд

$$T_{a_1} = \frac{L_{a_0} - L_{a_1}}{w_{a_1} - b_{a_1} X_{a_1}}, \quad w_{a_1} = \frac{\mu_{\max a_1}}{Y} X_{a_1}. \quad (5)$$

Для прийнятих вихідних параметрів

$$X_{a_1} = 1000 \frac{\text{мг ХСК}}{\text{л}}, \mu_{\max a_1} = 6 \text{ доба}^{-1},$$

$$b_{a_1} = 0,01 \text{ год}^{-1}, Y_{\max a_1} = 0,64 \frac{\text{мг ХСК}}{\text{мг ХСК}}.$$

$$\text{При } L_{a_0} = 150 \frac{\text{мг ХСК}}{\text{л}} \quad \text{і} \quad L_{a_1} = 50 \frac{\text{мг ХСК}}{\text{л}},$$

$$L_{a_1} = 30 \frac{\text{мг ХСК}}{\text{л}} \quad \text{по формулі (5) відповідно}$$

$$\text{одержимо } T_{a_1} = 2,85 \text{ год}, T_{a_1} = 3,43 \text{ год}.$$

Розрахунки концентрації кисню C_{a_1} , в реакторі 1 виконуємо згідно [15], де приймаємо

$$\alpha_1 = 0,95, \quad \beta_1 = 0,95, \quad C_{p_1} = 10 \frac{\text{мг O}_2}{\text{л}}$$

$$C_{a_0} = 0,5 \frac{\text{мг O}_2}{\text{л}}, \quad \alpha_{1a_1} = 0,8 \frac{\text{г O}_2}{\text{г XCK}},$$

$$\alpha_{2a_1} = 1,42 \frac{\text{г O}_2}{\text{г XCK}}. \text{ Для випадку } T_{a_1} = 2,85 \text{ год}$$

при значеннях параметрів $K_{c_1} a_1 = 8 \text{ год}^{-1}$ і

$$K_{c_1} a_1 = 10 \text{ год}^{-1} \quad \text{відповідно} \quad \text{одержимо}$$

$$C_{a_1} = 2,8 \frac{\text{мг O}_2}{\text{л}} \text{ і } C_{a_1} = 4,3 \frac{\text{мг O}_2}{\text{л}}$$

Останнім часом проведені значні дослідження кисневого режиму при очистці стічних вод в аеротенках від забруднень різного походження, вилучення яких відбувається на основі процесу окислення. Так при очистці стічних вод з використанням відомих моделей ASM1, ASM2 і ASM3 одержані цікаві результати по визначенню ступеня очистки від різних забруднень, зокрема ОЗ в залежності від реакції окислення і часу гідравлічної затримки (часу аерації) [14].

В роботі [17] на підставі теоретичних і експериментальних досліджень вилучення ОЗ активним мулом в аеротенку-змішувачі при різних значеннях навантажень і концентрацій ОЗ достатня концентрація кисню для забезпечення процесу окислення в аеротенку потрібна десь в межах $C_a = 4,5 - 5,0 \frac{\text{мг O}_2}{\text{л}}$. В роботі [18] наведені результати теоретичних досліджень очистки активним мулом на основі реалізації математичних моделей в більш строгій постановці, які свідчать про те, що для достатнього забезпечення процесу вилучення ОЗ достатньо підтримувати концентрацію кисню десь в межах $C_a = 5,0 \frac{\text{мг O}_2}{\text{л}}$.

Частково очищена в реакторі 1 стічна вода поступає на доочистку в реактор 2 аеротенка, де нагадаємо вилучення ОЗ відбувається тільки закріпленою біомасою реакцією першого порядку, а реакція окислення відбувається за реакцією нульового порядку згідно прийнятих рівнянь (1) і (2). В цьому випадку для визначення тривалості аерації T_2 , яка буде забезпечувати очищення стічних вод відповідно до концентрації L_{a_2} згідно [16] після деяких перетворень одержимо наступне рівняння

$$T_2 = \frac{W_{p_2}}{Q_a} = \frac{L_{a_1} - L_{a_2}}{\lambda_{\delta} (L_{a_2} - L_{\delta_2})} \text{ год} \quad (6)$$

$$\lambda_{\delta} = F_{\delta n_2} K_{L\delta_2};$$

$$F_{\delta n_2} = \frac{F_{\delta l_2}}{W_{a_2}};$$

$$W_{a_2} = \frac{W_{p_2}}{\varepsilon_2}$$

Для розрахунків по рівнянню (6) приймаємо

$$K_{L\delta} = 0,05 \text{ м/год}, \quad F_{\delta n_2} = 300 \frac{\text{м}^2}{\text{м}^3}, \quad \delta_2 = 200$$

$$\text{мкм} = 2,0 \cdot 10^{-4} \text{ м}, \quad \mu_{m_2} = 0,1 \text{ год}^{-1},$$

$$Y = 0,5 \frac{\text{г XCK}}{\text{г XCK}}, \quad X_2 = 10 \frac{\text{г XCK}}{\text{л}}, \quad K_{m_L} = 20 \text{ мг/л},$$

$$b_{c_2} = 0,006 \text{ год}^{-1}, \quad D_L = 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{год},$$

$$L_{a_1} = 50 \frac{\text{мг XCK}}{\text{л}}, \quad L_{a_2} = 10 \frac{\text{мг XCK}}{\text{л}}.$$

Залежність для визначення концентрації забруднень на зовнішній поверхні біоплівки, сформованій на плоскій пластині згідно [19] має вигляд

$$L_{\delta_{z=0}} = A_2 L_{a_2}. \quad (7)$$

Для визначення параметра A_2 в роботі [19] побудовано розрахунковий графік $A_2 = f(\phi_2, \lambda_2)$ (рис.2), де в даному випадку прийнято

$$\phi_2 = 2\sqrt{\alpha_{\delta_2}},$$

$$\alpha_{\delta_2} = \frac{k_2 \delta_2^2}{D_L},$$

$$k_2 = \frac{\mu_{m_2} X_2}{K_{m_2} Y_2},$$

$$\lambda_2 = \frac{\sqrt{k_2 D_L}}{K_{L\delta}}$$

В результаті виконаних розрахунків з використанням роботи [15] і формули (6) одержимо $A = 0,8$, $L_{\delta_{z=0}} = 8,5 \text{ мг/л}$, $L_{\delta_{z=\delta}} = 3,9 \text{ мг/л}$, $L_{\delta_p} = 6,2 \text{ мг/л}$, $T_2 = 1,8 \text{ год}$.

Розрахунок параметрів кисневого режиму в реакторі 2 з закріпленим біоценозом виконуємо згідно [15]. Нагадаємо, що забезпечення киснем вилучення ОЗ в біоплівці відбувається за реакцією нульового порядку згідно рівняння (3).

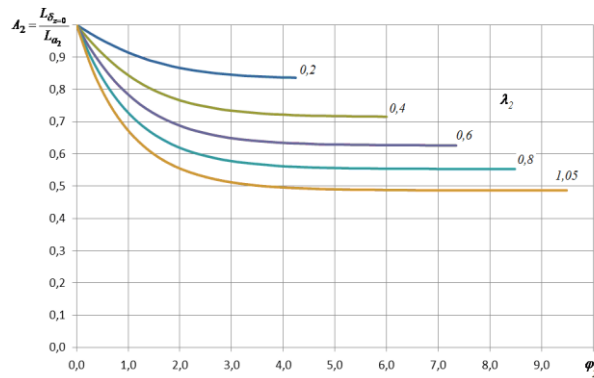


Рис.2. Графіки для визначення параметра $A_2 = f(\phi_2, \lambda_2)$

Значення концентрації кисню на зовнішній поверхні біоплівки визначаємо згідно [15], де приймаємо $\alpha_{1_2} = 0,6 \frac{\text{гO}_2}{\text{гХСК}}$, $\alpha_{2_2} = 1,42 \frac{\text{гO}_2}{\text{гХСК}}$, а також визначаємо параметр $w_{c_2} = 461 \frac{\text{мгO}_2}{\text{л}} \frac{\text{м}}{\text{год}}$ і концентрацію $C_{\delta_2} = C_{\alpha_2} - 0,615 \frac{\text{мгO}_2}{\text{л}}$.

Розрахунки концентрації кисню C_{a_2} в реакторі 2 виконуємо згідно [15], де приймаємо $\alpha_2 = 0,95$, $\beta_2 = 0,95$, $C_{p_1} = 10 \frac{\text{мгO}_2}{\text{л}}$, $C_{a_1} = 2,8 \frac{\text{мгO}_2}{\text{л}}$, $K_{c_2} = 0,15 \text{ м/год}$ при різних значеннях параметра $K_{c_2} a_2 = 10 \text{ год}^{-1}$ і $K_{c_2} a_2 = 15 \text{ год}^{-1}$. Для випадку $K_{c_2} a_2 = 10 \text{ год}^{-1}$ маємо $C_{a_2} = 6,5 \frac{\text{мгO}_2}{\text{л}}$, а для випадку $K_{c_2} a_2 = 15 \text{ год}^{-1}$ маємо $C_{a_2} = 7,5 \frac{\text{мгO}_2}{\text{л}}$.

Таким чином, згідно наведених критеріїв одержана концентрація кисню $C_{\delta_{z=0}} = 6,5 \frac{\text{мгO}_2}{\text{л}}$ буде достатньою і не буде лімітувати процес вилучення ОЗ забруднень в біоплівці по всій її товщині.

В роботі [20] в результаті рішення чисельними методами більш загальних рівнянь вилучення ОЗ з киснем були одержані такі граничні концентрації кисню, які не будуть лімітувати процес вилучення ОЗ в реакторі з повним перемішуванням із

закріпленою біоплівкою. Так при $L_a = 35 \frac{\text{мг ХСК}}{\text{л}}$

$$C_a = 8,3 \frac{\text{мг O}_2}{\text{л}}, \quad \delta_2 = 500 \text{ мкм},$$

$\delta_p = 50 \text{ мкм}$ одержані такі значення L і C по товщині біоплівки z (табл.1).

Таблиця 1
Значення концентрацій L і C по товщині біоплівки z

$z, \text{мкм}$	0	100	200	300	400	500
$L, \frac{\text{мг ХСК}}{\text{л}}$	28,0	15,0	7,0	4,0	2,3	2,0
$C, \frac{\text{мг O}_2}{\text{л}}$	6,8	5,2	3,5	2,0	1,4	1,0

Одержані теоретичні результати співпадають з дослідними даними [20]. Крім того при проведенні порівняльного аналізу встановлено, що вони цілком відповідають результатам, визначеним по запропонованій методиці розрахунку.

Висновки і перспективи подальших досліджень

Запропонована методика розрахунку кисневого режиму і наведені практичні рекомендації до її використання дозволяють обґрунтувати найбільш доцільний режим забезпечення киснем процесів біологічного очищення стічних вод на аеротенках-змішувачах зі зваженим і закріпленим біоценозом і оцінити ефективність вилучення ОЗ за рахунок впровадження закріпленого біоценозу у вигляді біоплівки з великою концентрацією мікроорганізмів.

В подальших дослідженнях планується розробити інженерну методику розрахунку аеротенків-витискувачів зі зваженим і закріпленим біоценозом.

Література

- ДБН В.2.5-75-2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Текст] - К.: Мінрегіон України, 2013.-128 с.
- Грицина, О.О. Дослідження процесів очищення стічних вод від біогенних елементів та утилізації енергетичного потенціалу стічних вод [Текст] : Монографія / О.О. Грицина, М.А. Єсін, В.С. Жукова та ін. – Рівне: НУВГП, 2018. – 267 с.
- Реконструкція і інтенсифікація споруд водопостачання та водовідведення [Текст] : Навчальний посібник / О.А. Василенко, П.О. Грабовський, Г.М. Ларкіна та ін. – К.: ІВНВКП «Укреліотех», 2010. – 272 с.
- Биологическая очистка сточных вод (теория и практика) [Текст] / Н.И. Куликов, М.Г. Зубов, Е.Н.

Куликова и др. – Сочи: Издательство «Дория», 2013. – 289 с.

5. Олійник, О.Я. Моделювання очистки стічних вод від органічних забруднень в біореакторах - аеротенках зі зваженим (вільно плаваючим) і закріпленим біоценозом [Текст] / О.Я. Олійник, Т.С. Айрапетян // Доповіді НАНУ, 2015.-№ 5.- С.55-59.

6. Gebara, F. (1999). Activated sludge biofilm waste water treatment system *Water Research*. – Oxford: Pergamon Press, 13, 1, 230-238.

7. Жмур, Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенком [Текст] / Н.С. Жмур. – М.: АКВАРОС, 2003. – 512 с.

8. Святенко, А.І. Дослідження зміни ефективності очищення стічних вод в аеротенках під впливом різних чинників [Текст] / А.І. Святенко, Н.П. Дяденко, Т.Г. Нечипоренко-Шабуніна // Екологічна безпека. – К., 2011. - № 11. – С.64 – 66.

9. Henze, M., Van Loosdrecht, M., Ekama, G., Brdjanovic, D. (2008). Biological Wastewater Treatment. IwaPublishing, London, 511.

10. Olga Kolpakova (2015). Theoretical studies and calculations of waste water treatment in trickling biofilters *MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture: Polish Academy of sciences, Lublin-Rzeszow*, 17, 8, 165-173.

11. Wanner, O., Ebert, N.I., Rittman, B.E. (2006). Matematical modeling of biofilms. *Scientific and Technical report*, 18, 208.

12. Айрапетян, Т.С. Моделювання кисневого режиму в біореакторах-аеротенках при очистці стічних вод від органічних забруднень [Текст] / Т.С. Айрапетян, С.В. Телима, О.Я. Олійник // Доповіді НАНУ, - 2017- № 6 - С.21-27.

13. Олійник, О.Я. Моделювання і розрахунки кисневого режиму при вилученні органічних забруднень в аеротенках-змішувачах зі зваженою і закріпленою біомасою [Текст] / О.Я. Олійник, Т.С. Айрапетян // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки - 2016 — Вип. 27 — С.269-279.

14. Henze, M., Harremoës, P., laCourJansen, J., Arvin, E. (2002). Waste water Treatment: Biological and Chemical Processes. 3rd ed. – Berlin, Springer, 430.

15. Олійник, О.Я. Розрахунок кисневого режиму при біологічному очищенні стічних вод в аеротенках-змішувачах з закріпленим і зваженим біоценозом [Текст] / О.Я. Олійник, Т.С. Айрапетян // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2018. – Т.98, №4. – С. 187 – 191.

16. Олійник, О.Я. Теорія і розрахунки біологічної очистки стічних вод в аеротенках зі зваженим (вільно плаваючим) і закріпленим на додаткових пристроях біоценозом [Текст] / О.Я. Олійник, Т.С. Айрапетян // Прикладна гідромеханіка. - 2015. - Т.17(89), №3. - С.35-43.

17. Abbassi, B., Dullstein, S., Rabiger, N. (2000). Minimization of excess sludge production by increase of oxygen concentration in activated sludge. Experimental and theoretical approach. *Wat. Res.*, 34, 1, 139-146.

18. Евилевич, М. А. Математическое исследование процесса биологической очистки на хлопьях активного ила [Текст] / М.А. Евилевич, А.В. Наумов, В.Е. Блохин,

А.В. Швитев // Водные ресурсы. – 1978. – №1. – с. 143-151.

19. Олійник, О.Я. Моделювання і розрахунки біологічної очистки стічних вод на краплинних біофільтрах [Текст] / О.Я. Олійник, О.А. Колпакова // Екологічна безпека та природокористування. - 2014. –Вип. 16.- С.68-86.

20. Smith, D.P. (1995). Oxygen flux limitation in aerobic fixed-film biotreatment of a bazarious landfill leachate. *Journal of Harardous Materials*, 44, 77-91.

References

- 1.DBN V.2.5-75-2013. (2013). *Sewerage.Outdoor networks and structures.The main provisions of the design*, Kyiv, Ministry of Regional Development of Ukraine, 128.
2. Grytsina, O.O., Yesin, M.A., Zhukova, V.S.et al. (2018). Investigation of wastewater treatment processes from biogenic elements and utilization of sewage power potential. Monography. Rivne, NUVGP, 267.
3. Vasilenko, A., Grabovsky, P., Larkina, G. (2010).Reconstruction and intensification of water supply and sewage facilities: Textbook. Kyiv, IVNVKP "Ukrelyotokh", 272.
4. Kulikov, N. I., Zubov, M. G., Kulikova, E. N. etal (2013). Biological sewage treatment (theory and practice). - Sochi: Doria Publishing House, 289.
5. Oleynik, A.Ya., Airapetian, T.S. (2015). Modelling of the waste water treatment from the organic contaminations in the bioreactors-aerotanks with suspended (free flowing) and fixed biocenosis.. *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 5, 55-59.
6. Gebara, F. (1999). Activated sludge biofilm waste water treatment system *Water Research*. – Oxford: Pergamon Press, 13, 1, 230-238.
7. Zhmur, N.S. (2003). Technological and biochemical processes of sewage treatment in constructions with aerotanks. - М.: AQUAROS, 512.
8. Svyatenko, A., Dyadenko, N., Nechiporenko-Shabunina, T. (2011). Research of change of efficiency of sewage treatment naerotanks under the influence of different factors. *Ecological safety*, 1, 64–66.
9. Henze, M., Van Loosdrecht, M., Ekama, G., Brdjanovic, D. (2008). Biological Wastewater Treatment. IwaPublishing, London, 511.
10. Olga Kolpakova (2015). Theoretical studies and calculations of waste water treatment in trickling biofilters *MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture: Polish Academy of sciences, Lublin-Rzeszow*, 17, 8, 165-173.
11. Wanner, O., Ebert, N.I., Rittman, B.E. (2006). Matematical modeling of biofilms. *Scientific and Technical report*, 18, 208.
12. Airapetian, T.S., Telima, S.V., Oleynik, A.Ya. (2017). Modeling of oxygen regime in aerotanks bioreactors in the treatment of sewage from organic pollutants. *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 6, 21-27.
13. Oleynik, A.Ya., Airapetian, T.S. (2016). Modelling and computation of the oxygen regime while extracting the organic contaminants in ideal mix aeration tank with suspended and fixed biocenose. *Problems of water supply, drainage and hydraulics*, 27, 269-279.

14. Henze, M., Harremoës, P., laCourJansen, J., Arvin, E. (2002). Waste water Treatment: Biological and Chemical Processes. 3rd ed. – Berlin, Springer, 430.
15. Oleynik, A.Ya., Airapetian, T.S. (2018). Calculation of oxygen regime in the biological treatment of sewage aerotanks-mixers with fixed and suspended biocenose. *Scientific Bulletin of Construction*. - Kharkiv: KhNUBA, KOTV ABU, 98, 4, 187 - 191.
16. Oleynik, A.Ya., Airapetian, T.S. (2015). Theory and calculations of biological treatment of waste water in aerotanks with weighted (freely floating) and attached to additional devices biocenose. *Applied hydromechanics*, 17 (89), 3, 35-43.
17. Abbassi, B., Dullstein, S., Rabiger, N. (2000). Minimization of excess sludge production by increase of oxygen concentration in activated sludge. Experimental and theoretical approach. *Wat. Res.*, 34, 1, 139-146.
18. Evilevich, MA, Naumov, A.V., Blokhin, V.E., Shvitev, A.V. (1978). Mathematical Study of the Process of Biological Purification on Flakes of Active Sludge, *Water Resources*, 1, 143-151.
19. Oleynik, A.Ya., Kolpakova, O.A. (2014). Modeling and calculations of biological wastewater treatment at drip biofilters. *Ecological safety and nature management*, 16, 68-86.

20. Smith, D.P. (1995). Oxygen flux limitation in aerobic fixed-film biotreatment of a hazardous landfill leachate. *Journal of Hazardous Materials*, 44, 77-91.

Рецензент: д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри водопостачання, каналізації і гідравліки С.М. Епоян, Харківський національний університет будівництва та архітектури, України

Автор: ОЛІЙНИК Олександр Якович
член-кореспондент НАН України, доктор технічних наук, професор
завідувач відділу прикладної гідродинаміки
Інститут гідромеханіки НАН України
E-mail – kurganska@ukr.net
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9110-1709>

Автор: АЙРАПЕТЯН Тамара Степанівна
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри водопостачання, водовідведення і очищення вод
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – tamara78kh2008@rambler.ru
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8834-5622>

PRACTICAL RECOMMENDATIONS TO OXYGEN CALCULATION MODES FOR BIOLOGICAL STRAIN WATER TREATMENT IN AEROTANKS WITH CLOSED AND REFERRING BIOECENOSIS

A. Oleynik¹, T. Airapetian²

¹ Institute of Hydromechanics of the NAS of Ukraine, Ukraine

² O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

The most widely used biological methods of urban wastewater treatment, based on the use of the ability of microorganisms to oxidize organic pollution. The process of biological purification from pollutants occurs in aerotanks at direct contact of sewage with microorganisms of active sludge in the presence of an appropriate amount of dissolved oxygen. The effectiveness of removing contaminants in aerotanks can be greatly enhanced by the installation of additional loading (nets, nozzles, etc.), on the surface of which a biofilm with a high concentration of microorganisms is formed. In this case, the immobilized biocenose works simultaneously with the weighted volume of the building (active sludge). To organize an effective process of oxidation to aeration systems, it is necessary to provide such an oxygen regime in a reactor, in which the rate of biological purification should not be limited by the amount of oxygen contained in the reactor.

Examples of calculation of parameters of oxygen regime in aerotank-mixers with weighted and fixed biocenosis are given, an estimation of influence of various parameters is carried out. Considered the most expedient from a practical point of view technological scheme of wastewater treatment. The aerotank-mixer consists of two parts (reactor 1 and 2), while in the reactor 1, the removal of organic contaminants occurs due to weighted biocenosis (active sludge), that is, as in the usual aerotank-mixers, and in reactor 2, the removal of organic contamination occurs at the expense of enshrined in the loading biocenose (biofilm).

The proposed method for calculating the oxygen regime in aerotank-mixers with fixed and weighted biocenosis. It is believed that the oxidation of pollution by an active sludge occurs in a zero-order reaction, and a biofilm is a reaction of the first order. The influence of limiting factors on concentration of dissolved oxygen and organic pollutants is estimated. The practical recommendations for its use are given, which allow to substantiate the most expedient mode of oxygen maintenance of biological purification processes in structures of advanced design and to evaluate the efficiency of application of additional loading with high concentrations of microorganisms on its surface.

Keywords: wastewater treatment, oxygen regime, aerotank mixer, active sludge, fixed biomass (biofilm), concentration of pollutants and oxygen, initial parameters, calculation, evaluation, analysis.